

综 述

低碳水化合物饮食用于营养治疗中的研究进展

王 宇综述, 郑锦锋审校

【摘要】 近年来,低碳水化合物饮食(LChD)被广泛地应用于一些疾病的营养治疗,如肥胖、糖尿病、非酒精性脂肪肝、多囊卵巢综合征、嗜睡和癫痫等。越来越多的研究证实,LChD 不仅有助于体重控制,还能够改善血脂水平、降低空腹血糖及糖化血红蛋白水平,并调节体内炎症反应;另一方面,LChD 的不良反应不容忽视,可能导致矿物质和维生素缺乏并增加肾负担和水电解质紊乱的风险。LChD 长期应用的安全性和有效性还未得到充分验证。文章就近年来有关 LChD 与体重减轻、脂质代谢、血糖控制、炎症反应以及不良反应的研究进展进行综述。

【关键词】 低碳水化合物饮食;营养治疗;体重控制

【中图分类号】 R459.3

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-271X(2018)02-0172-05

【DOI】 10.3969/j.issn.1672-271X.2018.02.015

0 引 言

肥胖目前在全世界范围内呈现逐年增长的趋势。据世界卫生组织报道,2014 年全球 18 岁以上成人超重和肥胖人数分别超过 19 亿和 6 亿。每年至少有 280 万人死于因超重或肥胖引起的相关疾病。肥胖相关并发症几乎累及全身各个系统,是冠心病、脑卒中、骨关节病、2 型糖尿病、多种癌症(如子宫内膜癌、乳腺癌、前列腺癌、皮肤癌等)和其他一些慢性非传染性疾病的重要危险因素^[1]。过多的体重增长已经成为发达国家和发展中国家共同面临的健康负担。维持健康体重有助于预防和治疗许多疾病的发生。

随着对机体正常或疾病状态下代谢研究的不断深入,临床营养治疗的方法、理论与应用也不断更新,在多种疾病治疗中发挥重要作用^[2]。现代饮食中富含大量精制加工的碳水化合物是导致肥胖和代谢功能紊乱的主要因素之一^[3]。越来越多的研究认为,通过调整饮食成分减少能量摄入能够降低多余的体重,从而改善由肥胖引起的代谢相关危险因素和减少肥胖相关疾病的发病风险^[4-6]。低碳水化合物饮食(low-carbohydrate diet, LChD)是 19 世纪 60 年代起广泛流行的一种治疗肥胖最普遍的方

法^[7]。这种膳食模式目前在国际上尚无统一定义。美国糖尿病协会指出 LChD 是每日正常 2000 kcal 饮食中碳水化合物摄入量低于 130 g^[8]。另一些研究认为,每日碳水化合物摄入量低于全日总能量供给的 40% 即为 LChD^[9]。当限制碳水化合物摄入量时,膳食中另两种产能营养素蛋白质和脂肪的比例增加,因此又可分为低碳水化合物高蛋白饮食或低碳水化合物高脂肪饮食。这两种饮食中碳水化合物的供能比均为 20%~40%,其差别主要在于低碳水化合物高蛋白饮食中蛋白质和脂肪供能比分别为 30%~60% 和 20%~30%,而低碳水化合物高脂肪饮食中蛋白质和脂肪供能比则为 20%~30% 和 30%~60%^[10]。以上两种饮食除短期减重效果显著外,低碳水化合物高脂肪饮食的健康益处在于能够改善因肥胖引起的心血管疾病、高血压、糖尿病和体内炎症反应的危险因素,而低碳水化合物高蛋白饮食可在逆转细胞炎症反应方面发挥作用^[5]。此外,还有一种将碳水化合物比例严格控制在 20% 以内的极低碳水化合物高蛋白饮食,其脂肪供能比为 25%~35%、蛋白质为 55%~65%^[10]。极低 LChD 又叫低碳水化合物生酮饮食,早先用于治疗癫痫。低碳水化合物生酮饮食不仅对减重减脂有效,也可改善与代谢和心血管疾病相关的标志物,其减重原理包括蛋白质饱腹感强可直接抑制食欲,减少饥饿感;减少脂质合成代谢,增加脂质分解代谢;减少静息状态下的呼吸商,从而增加能量消耗过程中的脂肪代谢;增加糖原异生作用和蛋白质热效应产生

作者单位:210002 南京,南京军区南京总医院营养科
(王 宇、郑锦锋)

通信作者:郑锦锋, E-mail: zjfdactor@126.com

的代谢消耗等^[7,11]。但是与低碳水化合物高蛋白或高脂肪饮食相比,低碳水化合物生酮饮食在降低体重或改善心血管危险因素方面并未表现出更多的优势,且很难长期坚持^[12]。现将近年来有关 LChD 在营养治疗方面的研究进展作一综述。

1 LChD 与减轻体重

美国糖尿病协会 2012 年的诊疗标准中指出 LChD 能够有效地降低体重^[13]。其原因在于,减少饮食中碳水化合物供给能够限制机体可利用的能量和葡萄糖,进而增加脂肪氧化利用满足能量需要,最终导致体重减轻^[14]。de Luis 等^[15]研究显示,与标准低能量饮食相比,9 个月的 LChD 能够使肥胖患者降低更多的体重。在非糖尿病的超重或肥胖成人中,与低脂肪饮食 (low-fat diet, LFD) 相比, LChD 在减重阶段侧重强化总体脂肪的消耗,在体重维持阶段可选择性地消耗腹内脂肪组织^[3]。体重下降过程中,伴随着静息代谢率降低,能量消耗减少往往造成体重无法持续下降。Ebbeling 等^[16]研究饮食成分在减重维持过程中对能量消耗的影响,将 21 名超重或肥胖的年轻人随机分配到等热量的 LFD、低血糖生成指数饮食和 LChD 组,结果显示参与者采用等能量的不同饮食模式体重均下降 10%~15%,同时伴随静息能量消耗和运动热效应的降低,其中 LFD 组下降最多,其次是低血糖生成指数饮食组,最少的是 LChD 组。由此可见,LFD 促使能量消耗减少可能会导致体重反弹,因此在体重维持阶段膳食中限制碳水化合物可能比限制脂肪更具有优势。很多研究表明体重下降的程度往往取决于受试者的依从性而不单单是依靠某种营养素成分的调整。LChD 依从性优于其他减重饮食可能是有蛋白质摄入比例较高可增加饱腹感^[17]。McClain 等^[18]研究不同胰岛素抵抗状态下,LFD 和 LChD 对肥胖患者体重改变的影响,结果显示,与胰岛素敏感的受试者相比,采用 LFD 的胰岛素抵抗者对饮食依从性较差且体重下降较少。然而,胰岛素敏感者和胰岛素抵抗者采用 LChD 后在饮食依从性和减重效果上无明显差异。肥胖者的胰岛素抵抗状态可能影响其对减重饮食的长期依从性,并导致较高的反弹率和减重效果不佳,原因在于肥胖者使用 LFD 后血糖快速吸收产生一系列激素和代谢改变,从而增加饥饿感和能量摄入。因此,胰岛素抵

抗者采用 LChD 饮食可能更易耐受并降低体重。然而与其他传统减重饮食组相比,LChD 组受试者的体重在短期(6 个月)内下降最为显著,但是随访一年后发现不同饮食组受试者体重改变无显著差异^[9]。

2 LChD 与脂质代谢

肥胖与血脂异常的发病率增加密切相关,体内多余的脂肪组织蓄积导致炎症反应,上调游离脂肪酸释放入血,从而增加三酰甘油水平,尤其是胰岛素抵抗者^[19]。现代富含高能量高脂肪以及高果糖饮食结构是导致人肝内三酰甘油含量增加的重要原因,LChD 中增加的优质蛋白质可减少肝内三酰甘油含量^[20]。Browning 等^[21]观察低能量饮食和 LChD 对减少非酒精性脂肪肝患者肝内三酰甘油的作用,2 周后所有组别患者体重下降且肝内三酰甘油水平有所下降。与低能量饮食组相比,LChD 组肝内三酰甘油减少的更加显著(约 42%),可能是与限制碳水化合物使得肝脏和身体的氧化作用加强有关。流行病学研究表明,LChD 饮食可以改善心血管危险因素,尤其对血浆脂类的改善包括三酰甘油、总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇以及高密度脂蛋白胆固醇^[12]。Bazzano 等^[22]将 148 名未患心血管疾病和糖尿病的男性和女性,随机分配到 LFD 组和 LChD 组进行为期 12 个月的干预,结果显示 LChD 组减少更多的体重、脂肪组织和三酰甘油水平且增加更多的高密度脂蛋白胆固醇水平。Hu 等^[23]对 23 项有关 LChD 和 LFD 对代谢危险因素影响的随机对照试验(包括 2788 名参与者)的数据进行 Meta 分析,与 LFD 组相比,LChD 组总胆固醇、三酰甘油和低密度脂蛋白胆固醇水平显著下降,而高密度脂蛋白胆固醇水平升高。该研究认为可优先将 LChD 推荐给肥胖且伴有异常代谢危险组分的人群。另一些研究发现,传统的 LFD 能够更好地降低总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇水平,而 LChD 组在降低三酰甘油和增加高密度脂蛋白胆固醇水平方面优于低脂肪饮食组^[24-25]。LChD 饮食的反对者则认为,LChD 饮食中过多的脂肪来源会增加心血管疾病风险^[26]。一项随机对照试验的 Meta 分析研究显示 LChD 对两个重要的心血管危险因素产生相反的改变,即降低更多的体重同时增加低密度脂蛋白胆固醇。研究认为限制碳水化合物的

有益改变必须建立在减少的体重能够对抗增加的低密度脂蛋白胆固醇可能产生的有害作用^[27]。

3 LChD 与血糖控制

肥胖和 2 型糖尿病的流行病学研究发现,患者增加的能量几乎都来源于碳水化合物的增

加。过多的脂肪在肝蓄积,其次是胰腺,产生自身增强循环,促成 2 型糖尿病的发生。因此,饮食中碳水化合物的限制是血糖控制的首要步骤^[28]。LChD 不仅能在短期内到达减重的效果,还有利于改善血糖控制并减少胰岛素波动^[29]。Rock 等^[30]研究不同饮食成分对 2 型糖尿病患者体重及血糖控制的影响,结果表明与 LFD 组相比,LChD 组在 1 年的干预期内维持更低的糖化血红蛋白水平。限制碳水化合物饮食的益处往往不依赖于减重,即糖尿病患者采用 LChD 后血糖控制和其他症状的改善可能不需要降低体重就可获得。此外,2 型糖尿病患者对 LChD 的依从性优于其他营养干预,可能是由于增加的蛋白质和脂肪可诱导饱腹感,通过调节胰岛素介导的向大脑传递促进食欲信号的信号通路,减少患者因饥饿导致的血糖波动^[28]。Yamada 等^[31]研究认为,对于不能坚持限制能量饮食的 2 型糖尿病患者来说,非能量限制的 LChD 是一种有效的替代治疗方法,还可显著降低患者糖化血红蛋白水平。饮食调整能够积极地影响 2 型糖尿病患者体内血糖和糖化血红蛋白水平,也能减少药物治疗过程中胰岛素的使用^[32]。Krebs 等^[33]在一项 1 型糖尿病患者的随机对照试验中也观察到类似的结果,12 周的碳水化合物限制饮食干预使得患者体重下降并显著减少体内糖化血红蛋白水平和每日胰岛素用量。Gower 等^[3]发现 30 例多囊卵巢综合征女性(2 型糖尿病高危人群)采用 LChD8 周后空腹胰岛素和空腹血糖水平降低,胰岛素敏感性和 β 细胞动力学反应得到明显改善。

4 LChD 与炎症反应

慢性低级别炎症反应和胰岛素抵抗、糖尿病、动脉粥样硬化、肥胖和代谢综合征的发生密切相关。体内促炎环境还会导致一系列代谢紊乱,最终可能发展为代谢综合征^[34]。脂肪组织作为一种内分泌器官在机体免疫平衡中发挥重要作用,产生并释放很多细胞因子如肿瘤坏死因子- α 、白介素-6、脂

联素、C 反应蛋白等。脂肪组织巨噬细胞是促炎因子的主要来源,能阻碍脂肪组织、骨骼肌中胰岛素活化以及肝自分泌/旁分泌信号,通过内分泌信号通路引起系统性胰岛素抵抗,为炎症反应和胰岛素抵抗提供潜在关联^[35]。这些细胞因子大多在体内产生促炎作用,而脂联素具有胰岛素致敏和抗炎功效^[36]。肥胖患者体内长期处于低级别炎症状态,炎症反应使得体重增长,加速慢性疾病进程并进一步减少体力活动水平。研究表明膳食模式能够影响机体免疫功能并具有抗炎作用^[34]。Ruth 等^[37]研究显示,采用 12 周限制能量的低碳水化合物高脂肪饮食可降低肥胖患者体内 C 反应蛋白且升高血浆脂联素水平。Hu 等^[38]研究也证实,为期 12 个月的饮食干预,与 LFD 组相比,LChD 组肥胖患者脂联素水平增加更多。Jonasson 等^[39]观察传统 LFD 和 LChD 对 2 型糖尿病患者体内炎症反应的影响,结果显示 LChD 组患者血清白介素-1 受体和白介素-6 水平显著降低,这提示 LChD 能够改善 2 型糖尿病患者亚临床炎症状态。

5 LChD 的不良反应

长期应用碳水化合物限制饮食的安全性尚未得到明确验证。以往报道的有关 LChD 的不良反应主要包括增加体内氧化应激反应;增加矿物质和维生素缺乏的危险,减少膳食纤维摄入;蛋白质摄入比例过高,增加肾功能障碍和水电解质失衡的可能性,甚至引起一些胃肠道不良反应;长期蛋白质比例较低,又会导致体内蛋白质和骨骼肌流失;损害血管内皮细胞功能;增加低密度脂蛋白胆固醇水平,导致动脉粥样硬化的风险增加等^[10,32,40-41]。Chiba 等^[42]报告显示 LChD 的不良反应可能诱发溃疡性结肠炎。该病例是 1 名身高 172 cm、体重 72 kg 的 36 岁男性,采用低碳水化合物高脂肪饮食成功将体重降至 66 kg 后出现便血,结肠镜检查示直肠弥漫性炎症反应,最终临床诊断为溃疡性结肠炎,其原因可能是富含动物蛋白和动物脂肪的饮食造成肠道有益菌减少。一项美国的多中心研究将 307 名无严重临床疾病的肥胖成人随机分配到低碳水化合物高蛋白饮食或低脂肪饮食组进行为期 24 个月的干预,结果显示 LChD 并不会对健康肥胖个体的肾小球滤过率、白蛋白尿、水或电解质平衡产生显著的危害作用^[43]。Tay 等^[44]研究也显示,与传统的

高碳水化合物减重饮食相比,低碳水化合物高蛋白饮食对肥胖的未患肾疾病的 2 型糖尿病患者肾功能无不良反应。但是在运用 LChD 进行营养干预时仍需要关注微量营养素含量是否能满足机体需要,谨防高尿酸血症、低钙血症、低镁血症、肾结石和酮症酸中毒等发生^[45]。

6 结 语

综上所述,LChD 能够有效地降低体重并改善由肥胖引起的代谢相关危险因素。与其他减重饮食相比,LChD 在短期内(6 个月)减重效果显著,但是 1 年后与其他减重饮食相比效果无差异;LChD 显著改善患者体内三酰甘油和高密度脂蛋白胆固醇水平;LChD 对调节 2 型糖尿病患者的血糖水平有积极作用,能够减少胰岛素用量和糖化血红蛋白水平;LChD 可改善肥胖或 2 型糖尿病患者体内炎症反应;LChD 可能导致矿物质和维生素缺乏,膳食纤维摄入不足,并增加肾负担和水电解质紊乱的风险。未来需要更多长期性、随机化、临床对照研究进一步去阐明 LChD 在减少肥胖相关疾病风险中发挥的作用。

[参考文献]

- [1] World Health Organization (2014) Obesity and over weight. [OL] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/> (accessed June 2016).
- [2] 王新颖. 规范化营养支持治疗在临床中的应用——医学研究生的新知识拓展[J]. 医学研究生学报, 28(8): 785-788.
- [3] Gower BA, Goss AM. A lower-carbohydrate, higher-fat diet reduces abdominal and intermuscular fat and increases insulin sensitivity in adults at risk of type 2 diabetes[J]. *J Nutr*, 2015, 145(1): 177S-183S.
- [4] Atallah R, Filion KB, Wakil SM, *et al.* Long-Term Effects of 4 Popular Diets on Weight Loss and Cardiovascular Risk Factors: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials[J]. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*, 2014, 7(6): 815-827.
- [5] Atallah R, Filion KB, Wakil SM, *et al.* Low Carbohydrate versus Isoenergetic Balanced Diets for Reducing Weight and Cardiovascular Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *PLoS One*, 2014, 9(7): e100652.
- [6] 王 宇,姜明霞,许 琦,等. 低碳水化合物饮食对非酒精性脂肪肝肥胖患者的影响[J]. 东南国防医药, 2015, 17(1): 5-7, 25.
- [7] Paoli A, Rubini A, Volek JS, *et al.* Beyond weight loss: a review of the therapeutic uses of very-low-carbohydrate (ketogenic) diets[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2013, 67(8): 789-796.
- [8] Accurso A, Bernstein RK, Dahlqvist A, *et al.* Dietary carbohydrate restriction in type 2 diabetes mellitus and metabolic syndrome: time for a critical appraisal[J]. *Nutr Metab*, 2008, 5: 9.
- [9] York LW, Puthalapattu S, Wu GY. Nonalcoholic Fatty Liver Disease and Low-Carbohydrate Diets[J]. *Annu Rev Nutr*, 2009, 29: 365-379.
- [10] Frigolet ME, Ramos Barragán VE, Tamez González M. Low-carbohydrate diets: a matter of love or hate[J]. *Ann Nutr Metab*, 2011, 58(4): 320-334.
- [11] Paoli A, Cenci L, Grimaldi KA. Effect of Ketogenic Mediterranean diet with phytoextracts and low carbohydrates/high protein meals on weight, cardiovascular risk factors, body composition and diet compliance in Italian council employees[J]. *Nutr J*, 2011, 10: 112.
- [12] Hu T, Bazzano LA. The low-carbohydrate diet and cardiovascular risk factors: evidence from epidemiologic studies[J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2014, 24(4): 337-343.
- [13] American Diabetes Association. Standards of Medical Care in Diabetes-2012[J]. *Diabetes care*, 2012, 35(1): S11-S63.
- [14] Adam-Perrot A, Clifton P, Brouns F. Low-carbohydrate diets: nutritional and physiological aspects[J]. *Obes Rev*, 2006, 7: 49-58.
- [15] de Luis DA, Izaola O, Aller R, *et al.* Effects of a high-protein/low carbohydrate versus a standard hypocaloric diet on adipocytokine levels and insulin resistance in obese patients along 9 months[J]. *J Diabetes Complications*, 2015, 29(7): 950-954.
- [16] Ebbeling CB, Swain JF, Feldman HA, *et al.* Effects of dietary composition on energy expenditure during weight-loss maintenance[J]. *JAMA*, 2012, 307(24): 2627-2634.
- [17] Liebman M. When and why carbohydrate restriction can be a viable option[J]. *Nutrition*, 2014, 30(7-8): 748-754.
- [18] McClain AD, Otten JJ, Hekler EB, *et al.* Adherence to a Low-Fat versus Low-Carbohydrate Diet Differs by Insulin Resistance Status[J]. *Diabetes Obes Metab*, 2013, 15(1): 87-90.
- [19] Jung UJ, Choi MS. Obesity and its metabolic complications: the role of adipokines and the relationship between obesity, inflammation, insulin resistance, dyslipidemia and nonalcoholic fatty liver disease[J]. *Int J Mol Sci*, 2014, 15(4): 6184-6223.
- [20] Martens EA, Gatta-Cherifi B, Gonnissen HK, *et al.* The Potential of a High Protein-Low Carbohydrate Diet to Preserve Intrahepatic Triglyceride Content in Healthy Human[J]. *PLoS One*, 2014, 9(10): e109617.
- [21] Browning JD, Baker JA, Rogers T, *et al.* Short-term weight loss and hepatic triglyceride reduction: evidence of a metabolic advantage with dietary carbohydrate restriction[J]. *Am J Clin Nutr*, 2011, 93(5): 1048-1052.
- [22] Bazzano LA, Hu T, Reynolds K, *et al.* Effects of Low-Carbohydrate and Low-Fat Diets: a randomized trial[J]. *Ann Intern Med*, 2014, 161(5): 309-318.
- [23] Hu T, Mills KT, Yao L, *et al.* Effects of Low-Carbohydrate Diets

- Versus Low-Fat Diets on Metabolic Risk Factors: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Clinical Trials[J]. *Am J Epidemiol*, 2012, 176(7): S44-S54.
- [24] Nordmann AJ, Nordmann A, Briel M, *et al.* Effects of Low-Carbohydrate vs Low-Fat Diets on Weight Loss and Cardiovascular Risk Factors[J]. *Arch Intern Med*, 2006, 166(3): 285-293.
- [25] Schwingshackl L, Hoffmann G. Comparison of Effects of Long-Term Low-Fat vs High-Fat Diets on Blood Lipid Levels in Overweight or Obese Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *J Acad Nutr Diet*, 2013, 113(12): 1640-1661.
- [26] Lagiou P, Sandin S, Lof M, *et al.* Low carbohydrate-high protein diet and incidence of cardiovascular diseases in Swedish women: prospective cohort study[J]. *BMJ*, 2012, 344: e4026.
- [27] Mansoor N, Vinknes KJ, Veierød MB, *et al.* Effects of low-carbohydrate diets v. low-fat diets on body weight and cardiovascular risk factors: a meta-analysis of randomised controlled trials[J]. *Br J Nutr*, 2016, 115(3): 466-479.
- [28] Feinman RD, Pogozelski WK, Astrup A, *et al.* Dietary carbohydrate restriction as the first approach in diabetes management: Critical review and evidence base[J]. *Nutrition*, 2015, 31(1): 1-13.
- [29] Wylie-Rosett J, Aebersold K, Conlon B, *et al.* Health Effects of Low-Carbohydrate Diets: Where Should New Research Go? [J] *Curr Diab Rep*, 2013, 13(2): 271-278.
- [30] Rock CL, Flatt SW, Pakiz B, *et al.* Weight Loss, Glycemic Control, and Cardiovascular Disease Risk Factors in Response to Differential Diet Composition in a Weight Loss Program in Type 2 Diabetes: A Randomized Controlled Trial[J]. *Diabetes Care*, 2014, 37(6): 1573-1580.
- [31] Yamada Y, Uchida J, Izumi H, *et al.* A Non-calorie-restricted Low-carbohydrate Diet is Effective as an Alternative Therapy for Patients with Type 2 Diabetes[J]. *Intern Med*, 2014, 53(1): 13-19.
- [32] Czyżewska-Majchrzak Ł, Grzelak T, Kramkowska M, *et al.* The use of low-carbohydrate diet in type 2 diabetes - benefits and risks [J]. *Ann Agric Environ Med*, 2014, 21(2): 320-326.
- [33] Krebs JD, Parry Strong A, Cresswell P, *et al.* A randomised trial of the feasibility of a low carbohydrate diet vs standard carbohydrate counting in adults with type 1 diabetes taking body weight into account[J]. *Asia Pac J Clin Nutr*, 2016, 25(1): 78-84.
- [34] Steckhan N, Hohmann CD, Kessler C, *et al.* Effects of different dietary approaches on Inflammatory markers in patients with metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis[J]. *Nutrition*, 2016, 32(3): 338-348.
- [35] Galic S, Oakhill JS, Steinberg GR. Adipose tissue as an endocrine organ[J]. *Mol Cell Endocrinol*, 2010, 316: 129-139.
- [36] Ziemke F, Mantzoros CS. Adiponectin in insulin resistance: Lessons from translational research[J]. *Am J Clin Nutr*, 2010, 91(1): 258S-261S.
- [37] Ruth MR, Port AM, Shah M, *et al.* Consuming a hypocaloric high fat low carbohydrate diet for 12 weeks lowers C-reactive protein, and raises serum adiponectin and high density lipoprotein-cholesterol in obese subjects[J]. *Metabolism*, 2013, 62(12): 1779-1787.
- [38] Hu T, Yao L, Reynolds K, *et al.* The Effects of a Low-Carbohydrate Diet vs. a Low-Fat Diet on Novel Cardiovascular Risk Factors: A Randomized Controlled Trial [J]. *Nutrients*, 2015, 7(9): 7978-7994.
- [39] Jonasson L, Guldbrand H, Lundberg AK. Advice to follow a low-carbohydrate diet has a favourable impact on low-grade inflammation in type 2 diabetes compared with advice to follow a low-fat diet[J]. *Ann Med*, 2014, 46(3): 182-187.
- [40] Santesso N, Akl EA, Bianchi M, *et al.* Effects of higher-versus lower-protein diets on health outcomes: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2012, 66(7): 780-788.
- [41] Jovanovski E, Zurbau A, Vuksan V. Carbohydrates and Endothelial Function: Is a Low-Carbohydrate Diet or a Low-Glycemic Index Diet Favourable for Vascular Health? [J] *Clin Nutr Res*, 2015, 4(2): 69-75.
- [42] Chiba M, Tsuda S, Komatsu M, *et al.* Onset of Ulcerative Colitis during a Low-Carbohydrate Weight-Loss Diet and Treatment with a Plant-Based Diet: A Case Report[J]. *Perm J*, 2016, 20(1): 80-84.
- [43] Friedman AN, Ogden LG, Foster GD, *et al.* Comparative Effects of Low-Carbohydrate High-Protein Versus Low-Fat Diets on the Kidney[J]. *Clin J Am Soc Nephrol*, 2012, 7(7): 1103-1111.
- [44] Tay J, Thompson CH, Luscombe-Marsh ND, *et al.* Long-Term Effects of a Very Low Carbohydrate Compared With a High Carbohydrate Diet on Renal Function in Individuals With Type 2 Diabetes[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2015, 94(47): e2181.
- [45] Schugar RC, Crawford PA. Low-carbohydrate ketogenic diets, glucose homeostasis, and nonalcoholic fatty liver disease [J]. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 2012, 15(4): 374-380.

(收稿日期:2017-08-02; 修回日期:2017-08-30)

(责任编辑:刘玉巧)